

24-godzinne badanie elektrokardiograficzne metodą Holtera — wskazania, zastosowanie. Część 2

24-hour ambulatory electrocardiography — indications and application. Part 2

Zbigniew Szafraniec¹, Jerzy Krzysztof Wranicz², Michał Chudzik²,
Iwona Cygankiewicz² i Jan Henryk Goch²

¹Student indywidualny przy Klinice Kardiologii I Katedry Kardiologii i Kardiochirurgii
Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

²Klinika Kardiologii I Katedry Kardiologii i Kardiochirurgii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

Abstract

Ambulatory electrocardiography (AECG) is a commonly used in practice non-invasive diagnostic method useful also in risk stratification of sudden cardiac death among some cardiac patients. Its accessibility and relatively low costs implicate, that AECG is willingly used in clinical practice, but sometimes without unequivocal indications. There are also situations, where AECG could contribute some new and significant information to diagnostic process, but due to various reasons it is not ordered by the physician in charge. So it became important to remind and delineate ACC/AHA guidelines for AECG.

In part 2 cognitive skills needed for physicians to interpret AECGs competently were delineated. These were taken from ACC/AHA Clinical Competence Statement on Electrocardiography and Ambulatory Electrocardiography published in 2001. We also presented some essential difficulties with which the AECG interpreter will cope with. Afterwards we concentrated on monitoring and risk stratification of patients threaten with severe arrhythmia or sudden cardiac death, using well known algorithms based on AECG, such as heart rate variability (HRV), QT interval and its dispersion, signal-averaged electrocardiography (SAECG) [including late potentials (LP), P-wave duration and its dispersion], heart rate turbulence (HRT) and T-wave alternans, as well as some new directions in developing this diagnostic approach. (Folia Cardiol. 2005; 12: 245–253)

ambulatory electrocardiography (AECG), Holter monitoring, interpretation, HRV, HRT, LP, QT, QTd, T-wave alternans, P-wave

Umiejętności i wiedza niezbędne do kompetentnego interpretowania wyników AECG

Nie ma wątpliwości, że do rzetelnej interpretacji wyników elektrokardiografii ambulatoryjnej (AECG, *ambulatory electrocardiography*) wymagana jest wiedza nie tylko z zakresu samej elektrokar-

Adres do korespondencji: Dr med. Jerzy Krzysztof Wranicz
Klinika Kardiologii I Katedry Kardiologii UM
ul. Sterlinga 1/3, 91–425 Łódź
tel. (0 42) 633 96 30 w. 269, faks (0 42) 636 44 71
e-mail: holter@csk.am.lodz.pl
Nadesłano: 28.01.2005 r. Przyjęto do druku: 14.02.2005 r.

diografii, ale także szczególne przygotowanie i doświadczenie, co wynika ze specyfiki tej metody. Różnice w sposobie rejestracji w porównaniu ze standardowym 12-odprowadzeniowym zapisem oraz mogące się pojawić w trakcie badania artefakty i zakłócenia stanowią niekiedy przyczynę trudności w formułowaniu prawidłowych wniosków. Określono odpowiednie umiejętności i wiedzę niezbędne do kompetentnego interpretowania wyników AECG, które traktuje się jako zalecane wymagania wobec lekarzy podejmujących się tego zadania [1] (tab. 1). Z powodu wielu różnic w sposobie rejestrowania, analizy i tworzenia końcowych raportów zalecenia te dotyczą jedynie wspólnych dla wszystkich systemów AECG zasad. Jednak ważne jest, aby lekarz interpretujący badanie był zaznajomiony ze specyfiką techniczną systemów używanych we własnej placówce.

Zalecenia te dotyczą całego spektrum przypadków klinicznych i nie wszystkie umiejętności w nich wymagane są konieczne przy interpretacji typowych zapisów AECG. W przypadku każdego pacjenta z wszczepionym rozrusznikiem lekarz analizujący badanie powinien otrzymać dokładne dane dotyczą-

ce zaprogramowanych parametrów stymulatora. O ile analiza stymulatorów VVI nie powinna sprawiać istotnych problemów, o tyle przy innych sposobach stymulacji (AAI, dwujamowej, trójjamowej, czterojamowej) wymagane jest szczególne przygotowanie lekarza analizującego badanie. Te przypadki rozstrzyga się w specjalistycznych ośrodkach implantujących stymulatory serca, dysponujących odpowiednim sprzętem, oprogramowaniem oraz zatrudniające wykwalifikowany personel. Wydaje się, że współpraca między lekarzem oceniającym badanie AECG a programującym stymulator jest konieczna w każdym wątpliwym przypadku (tab. 1).

Rozumiejąc powyższe potrzeby, Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego na wniosek Zarządu Sekcji Elektrokardiologii Nieinwazyjnej ustalił zasady wpisu do Rejestru Pracowni Ambulatoryjnego Monitorowania EKG Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego, który dotyczy lekarza i określonej pracowni i jest aktualny przez 5 lat. Wpisanie do Rejestru jest wyrazem zobowiązania do wykonywania badań zgodnie ze Standardami Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego.

Tabela 1. Umiejętności i wiedza niezbędne do kompetentnego interpretowania wyników AECG (ACC/AHA Clinical Competence Statement, 2001 r.)

Table 1. Cognitive skills needed to interpret ambulatory electrocardiograms competently (ACC/AHA Clinical Competence Statement, 2001)

1. Znajomość odpowiednich wskazań do przeprowadzenia badania
2. Wiedza z zakresu arytmii, ich diagnozowania oraz znaczenia jako zaburzeń występujących u zdrowych pacjentów poddanych badaniu oraz u pacjentów z chorobami serca
3. Świadomość wielkiego zróżnicowania w występowaniu arytmii u pacjentów leczonych ambulatoryjnie w różnych porach cyklu okołodobowego oraz wpływu układu wegetatywnego na rytm serca
4. Wiedza na temat zmian zachodzących w standardowym EKG, które mogą wynikać z rozmaitych okoliczności bądź zjawisk, takich jak: aktywność fizyczna, hiperwentylacja, zaburzenia przewodzenia, zaburzenia elektrolitowe, działanie leków, wpływ przyjmowania posiłków, temperatura, próba Valsalvy, niedokrwienie oraz tymczasowe zjawiska repolaryzacyjne związane z różnymi chorobami serca
5. Znajomość leków nasercowych oraz wpływu, jaki mogą wywierać na przewodzenie i repolaryzację w EKG, zwłaszcza w przypadku podejrzenia zjawisk proarytmicznych (*proarrhythmic phenomena*)
6. Wiedza na temat czułości, specyficzności oraz dokładności diagnostycznej ambulatoryjnego zapisu EKG w różnych grupach wiekowych i populacjach, zwłaszcza w związku ze zmianami odcinka ST oraz zastosowaniem twierdzenia Bayesa
7. Wiedza na temat akceptowanych kryteriów rozpoznawania niedokrwienia na podstawie zmian odcinka ST
8. Wiedza na temat elektrokardiograficznych dowodów możliwych dysfunkcji stymulatora, takich jak nieskuteczna stymulacja (*failure to capture*), nieprawidłowe odczytywanie pobudzeń własnych (*failure to sense*) czy braku stymulacji (*failure to pace*) w przypadku rozruszników serca i implantowanych kardiowerterów-defibrylatorów (ICD)
9. Wiedza na temat elektrokardiograficznych dowodów właściwej i niewłaściwej stymulacji przeciwararytmicznej serca przez rozrusznik lub defibrylacji/kardiowersji u pacjentów z wszczepionym ICD
10. Podstawowa wiedza na temat zalet i wad urządzeń stosowanych w ciągłym oraz zdarzeniowym ambulatoryjnym EKG oraz możliwych przyczyn fałszywie dodatnich lub fałszywie ujemnych wyników badania, które wynikają z właściwości urządzeń lub ograniczeń w przetwarzaniu sygnału
11. Znajomość szczególnych właściwości urządzeń wykorzystywanych w przetwarzaniu zapisów AECG, za które wykonujący badanie jest odpowiedzialny
12. Świadomość, jakie umiejętności techniczne musi posiadać technik obsługujący urządzenia AECG w opracowywaniu danych przetworzonych komputerowo oraz konieczność bycia pewnym kompetencji technika

Zasadnicze problemy utrudniające interpretację wyniku AECG

Rejestracje holterowskie mają też swoje wady i często zdarza się, że dostarczają błędnych informacji, które wynikają z technicznych problemów właściwych procesom zapisu i analizy zgromadzonych danych. Zakłócenia pochodzące z wielu różnych źródeł (np. fale elektromagnetyczne), które mogą wystąpić podczas 24-godzinnej obserwacji, stanowią główny powód niewłaściwej interpretacji zapisu przez algorytmy programu komputerowego zarówno w przypadkach arytmii, jak i zmian odcinka ST. Szczególnie narażone na zakłócenia elektromagnetyczne i mechaniczne (rozciągnięcie taśmy, zmienna prędkość przesuwu) są zapisy analogowe wykonywane na taśmach magnetycznych. Wiele potencjalnych źródeł błędów w przypadku analizy dokonywanej automatycznie stanowi złożone zagadnienie, a więc specjalistyczna wiedza z zakresu technicznych właściwości badania holterowskiego wymaga zrozumienia nie tylko algorytmów, którymi kieruje się komputer do wykrywania zespołów QRS i ich klasyfikacji, ale także problemów związanych z przetwarzaniem wyników. Niektóre przyczyny błędnych wyników badania holterowskiego według *American College of Cardiology/American Heart Association* (ACC/AHA) podano w tabelach 2 i 3 za Kadish i wsp. [1].

Aby uniknąć przynajmniej części powyższych problemów technicznych, niezwykle ważną procedurą jest odpowiednie przygotowanie pacjenta do badania. Polega ono na przygotowaniu skóry, w przypadku skóry owłosionej wygolenie klatki piersiowej badanego przy użyciu sprzętu jednorazowego, przemycie skóry 99-procentowym izopro-

panolem, dokonanie abrazyj naskórka za pomocą pasty ścierniej oraz naklejenie elektrod Ag-AgCl₂ w odpowiednich punktach klatki piersiowej. Następnie należy we właściwy sposób dokonać połączenia elektrod z rejestratorem za pomocą przewodów. Trzeba zwrócić uwagę na podłączenie naklejanej elektrody do przewodu przed założeniem jej na skórę. Uniemożliwia to wyciśnięcie żelu spod elektrody w trakcie przeprowadzania tego zabiegu po naklejeniu elektrody na skórę. Rozpoczęcie rejestracji powinno nastąpić po ocenie wartości oporności skóry. Obecnie większość systemów holterowskich dokonuje tego pomiaru w sposób automatyczny.

Równie ważnym elementem służącym właściwej analizie EKG jest wykonanie zapisów pozycyjnych w ułożeniu na plecach, brzuchu, lewym i prawym boku oraz w pozycji siedzącej i stojącej. Uzupełnieniem tych prób jest test hiperwentylacji.

Bardzo istotnym czynnikiem gwarantującym właściwą jakość zapisu EKG, a tym samym możliwość rzetelnej analizy, jest odpowiednio przygotowana i przedstawiona instrukcja zachowania się pacjenta podczas 24-godzinnej rejestracji [2].

Ambulatoryjne monitorowanie EKG w ocenie ryzyka zagrożenia arytmia i nagłym zgonem sercowym

Oczekiwania wobec wyniku badania AECG częściowo zawarte są we wskazaniach do jego wykonania (np. uzyskanie dowodu na tło arytmogenne omdleń). Możliwości techniki AECG są jednak znacznie większe, jeśli uwzględni się zastosowanie nowoczesnych algorytmów matematycznych służących śledzeniu mechanizmów i podłoża rozmaitych zaburzeń rytmu. Najważniejsze z tych wskaźników

Tabela 2. Niektóre przyczyny fałszywie dodatnich bądź fałszywie ujemnych wyników w wykrywaniu i klasyfikowaniu zaburzeń rytmu, wynikające z problemów technicznych występujących w metodach holterowskich (ACC/AHA *Clinical Competence Statement*, 2001 r.)

Table 2. Some causes for technical false-positive or false-negative findings in arrhythmia detection and classification by the AECG (ACC/AHA *Clinical Competence Statement*, 2001)

1. Nieodpowiednie algorytmy służące wykrywaniu i klasyfikowaniu zaburzeń w obrębie zespołu QRS
2. Zakłócenia rozmaitego pochodzenia (*noise interference*) lub przesunięcia miejsc przyczepienia elektrod (*lead-electrode baseline drift*) czy artefakty
3. Mały woltaż zapisu
4. Uszkodzenie systemu zapisującego z taśmą wymienną lub nieściśły zapis
5. Różnice fizjologiczne w morfologii i woltażu zespołów RS
6. Pozostałości danych po niedokładnym ich wymazaniu na poprzednio używanych taśmach czy innych nośnikach danych
7. Nieodpowiednia bądź niewłaściwa interpretacja techniczna dokonana podczas etapu analizy danych
8. Niewłaściwe oznaczenia czasowe (*incorrect time stamping*) zapisów dokonanych w trakcie badania AECG

Tabela 3. Niektóre przyczyny fałszywie dodatnich bądź fałszywie ujemnych wyników w wykrywaniu i interpretowaniu niedokrwienia mięśnia sercowego w zapisie AECG (ACC/AHA *Clinical Competence Statement*, 2001 r.)

Table 3. Some causes for false-positive or false-negative findings in detection and interpretation of myocardial ischemia from the ambulatory electrocardiogram (ACC/AHA *Clinical Competence Statement*, 2001)

1. Zmiany ułożenia ciała skutkujące zmianami odcinka ST
2. Hiperwentylacja
3. Nagłe, nadmierne zmiany odcinka ST wywołane wysiłkiem fizycznym
4. Zmiany odcinka ST wywołane regulacją naczynioruchową lub zjawiskiem Valsalvy
5. Zaburzenia przewodzenia śródkomorowego
6. Niezdiagnozowany lub zlekceważony przerost lewej komory serca
7. Zmiany odcinka ST wynikające z tachyarytmii
8. „Fałszywe” zmiany odcinka ST związane z migotaniem lub trzepotaniem przedsionków
9. Zmiany odcinka ST wynikające z zaburzeń elektrolitowych lub działania leków
10. Niewłaściwa kalibracja wzorca (cechy) zapisu lub jej brak
11. Niedostateczna jakość techniczna zapisu
12. Zmienność odcinka ST wywołana samym procesem rejestracji sygnału, jego kompresji bądź filtrowania

odnoszące się do arytmii komorowych to: późne potencjały komorowe (LP, *late potentials*), zmienność rytmu serca (HRV, *heart rate variability*), dyspersja QT (QTd), zmienność załamka T (TWA, *T-wave alternans*) oraz turbulencja rytmu serca (HRT, *heart rate turbulence*). W przewidywaniu wystąpienia arytmii nadkomorowych coraz większe znaczenie ma czas trwania uśrednionego załamka P oraz jego dyspersja.

Późne potencjały komorowe są potencjałami mikrowoltowymi występującymi w końcowej fazie zespołu QRS. Mają one tak niską amplitudę, że nie są wykrywane w standardowym zapisie EKG (rejestracja sygnałów o amplitudzie 0,1–1 mV), a ujawniają się dopiero w elektrokardiogramie wysokiego wzmocnienia (SAECG, *signal-averaged electrocardiography*), który wykrywa sygnały 100-krotnie mniejsze. Badanie to umożliwia rejestrację znacznie powiększonych, odfiltrowanych i wzmocnionych sygnałów. Pierwsze badania na ten temat opublikowano w latach 80., wskazując jednocześnie na związek między obecnością LP u chorych po przebytym zawale serca a zwiększonym ryzykiem występowania groźnych komorowych zaburzeń rytmu [3–7]. Podobne obserwacje dotyczyły również pacjentów z nadciśnieniem tętniczym [8].

Kolejnym nieinwazyjnym wskaźnikiem ocenianym na podstawie AECG jest zmienność rytmu serca. Wydaje się, że jest to najlepiej zbadana, i jak wykazano w dużych badaniach, niezwykle przydatna metoda, stanowiąca niezależny czynnik prognostyczny śmierci z przyczyn sercowych w populacji ogólnej [9, 10]. Europejskie Towarzystwo Kardiolo-

logiczne (ESC, *European Society of Cardiology*) wraz z Północnoamerykańskim Towarzystwem Stymulacji i Elektrofizjologii (NASPE, *North American Society of Pacing and Electrophysiology*) wydały w 1996 r. dokument (będący owocem pracy połączonych grup ekspertów), który zawiera wytyczne dotyczące przeprowadzania pomiarów, interpretacji oraz użyteczności klinicznej HRV [11]. Zawarto w nim wiele praktycznych wskazówek, w tym jak unikać błędów interpretacyjnych. Podkreśla się również rolę HRV jako wskaźnika aktywności układu autonomicznego, co jest istotne, zważywszy na korelację między występowaniem śmiertelnych zaburzeń rytmu serca a wzmoczoną aktywnością współczulną bądź obniżoną aktywnością przywspółczulną [12, 13]. Nakreślono również kierunki poszukiwań w najbliższej przyszłości, z których za najistotniejsze uznano rozwój metod analizy zmienności odstępów RR, PR i PP, przejściowych zmian HRV oraz rozwój technik rejestracji wielosygnałowej (jednoczesny zapis EKG, oddechów, ciśnienia tętniczego itp.).

Innym algorytmem matematycznym wprowadzonym stosunkowo niedawno do praktyki klinicznej, którego przydatność poddaje się wielu wnikliwym obserwacjom, jest turbulencja rytmu serca. Wskaźnik ten w stosunkowo prosty sposób, opierając się na AECG, pozwala pośrednio określić charakter odruchu z baroreceptorów. Turbulencja rytmu serca może być oceniona przez 2 liczbowe parametry, tj. początek turbulencji (TO, *turbulence onset*) oraz nachylenie turbulencji (TS, *turbulence slope*). Wartość rokowniczą TO i TS szczególnie daje

się zaobserwować u pacjentów po przebytych zawale serca. Początek turbulencji okazał się najsilniejszym wskaźnikiem prognostycznym w badaniu *European Myocardial Infarction Amiodarone Trial* (EMIAT), a drugim z kolei po frakcji wyrzutowej lewej komory (LVEF, *left ventricular ejection fraction*) wskaźnikiem, na podstawie którego można było przewidzieć wystąpienie zgonu w badaniu *Multicentre Post-Infarction Program* (MPIP) [14, 15]. Wysoką wartość prognostyczną nieprawidłowych wartości HRT potwierdziły również badania Barthel i wsp. obejmujące kolejną dużą populację pacjentów po zawale, leczonych nowoczesnymi metodami reperuzji [16]. I chociaż nie w każdym przypadku pomiar HRT jest możliwy (tylko u osób z dominującym rytmem zatokowym, gdy obecne są przedwczesne pobudzenia komorowe, natomiast migotanie przedsionków czy stały rytm ze sztucznego rozrusznika wyklucza oznaczenie HRT), to jednak u tych pacjentów, u których można go wykonać, wykazuje bardzo dobrą wartość rokowniczą.

Kolejnymi ważnymi czynnikami prognostycznymi w wielu stanach klinicznych są: czas trwania odstępu QT, dyspersja QT i zmienność odstępu QT [17–19]. Zarówno przedłużony, jak i zbyt krótki odstęp QT mogą być niezależnymi wskaźnikami nagłego zgonu sercowego [20, 21]. W ostatnich latach coraz większą wagę przywiązuje się jednak do dynamicznych zmian repolaryzacji [22, 23]. Całodobowe monitorowanie holterowskie umożliwia ocenę odpowiedniej adaptacji odstępu QT do zmian RR. Ocena wskaźnika nachylenia QT/RR oparta na pomiarze AECG okazała się niezależnym wskaźnikiem ryzyka nagłego zgonu u pacjentów po zawale serca [24]. Dyspersję QT, czyli różnicę między najdłuższym i najkrótszym czasem trwania odstępu QT mierzonego w różnych odprowadzeniach EKG, można także oznaczać na podstawie zapisów holterowskich. Warunkiem oznaczenia tego współczynnika w AECG jest co najmniej trójkanałowy zapis. Możliwość dużo lepszej oceny stwarza jednak 12-odprowadzeniowe badanie holterowskie. Współczynnik ten daje liczne możliwości diagnostyczne, np. proponuje się go jako test zagrożenia nagłym zgonem sercowym, jest nieinwazyjnym markerem zagrożenia groźną arytmia komorową u chorych z arytmogenną dysplazją prawej komory, jest postulowany jako nieinwazyjny miernik niehomogenności repolaryzacji komórek. Przydatność dyspersji odstępu QT udokumentowano w wielu badaniach. Okazuje się także, że może mieć ona znaczenie w sytuacjach niezwiązanych bezpośrednio z arytmiami [24, 25]. Ocenę dyspersji QT można wykorzystać również jako czynnik zwiększający czułość

i swoistość elektrokardiograficznej próby wysiłkowej w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego [26–29].

Morfologia załamka T oraz jego zmienność to kolejne parametry związane z oceną repolaryzacji i wykorzystane w stratyfikacji ryzyka nagłej śmierci, zwłaszcza u pacjentów po przebytych zawale serca [30–33]. Wiele wskazuje, iż TWA może być lepszym wskaźnikiem groźnych arytmii komorowych u pacjentów po zawale serca niż inne algorytmy oparte na zapisie EKG [29–32]. Choć początkowo TWA oceniano na podstawie zapisu EKG podczas próby wysiłkowej, ostatnio pojawiły się też doniesienia o możliwości oceny TWA na podstawie 24-godzinnego monitorowania metodą Holtera [34].

Cały czas trwają poszukiwania właściwego nieinwazyjnego wskaźnika, pozwalającego w skuteczny i prosty sposób wyselekcjonować pacjentów zagrożonych nagłym zgonem sercowym. Jednakże powoli wygasa nadmierny entuzjazm związany z określeniem nieinwazyjnych wskaźników elektrokardiograficznych ryzyka nagłego zgonu. Pojawiają się dane, które wskazują, że w przypadku pacjentów po przebytych ostrym epizodzie wieńcowym z prawidłowym przewodzeniem śródkomorowym i leczonych zgodnie z obowiązującymi standardami większość parametrów charakteryzujących depolaryzację (jak LAS, *low-amplitude signal duration*, czyli czas trwania sygnału o niskiej amplitudzie, tzn. poniżej 40 μ V; RMS, *root mean square voltage*, czyli pierwiastek kwadratowy z ostatnich 40 ms zespołu QRS, LP) oraz repolaryzację (jak QTd, QTc) posiada niewielką wartość w przewidywaniu nagłego zgonu czy utrwalonego częstoskurczu komorowego [35]. Dlatego też na dalsze oceny wyżej wymienionych algorytmów stratyfikacji ryzyka nagłego zgonu przyjdzie jeszcze poczekać.

Do określenia funkcji przedsionków w AECG można wykorzystać morfologiczną analizę załamka P (tzw. P-wave). Jednak w standardowych zapisach ambulatoryjnych, wykorzystujących dwa lub trzy kanały, amplituda i obszar (*wave area*) załamka P mogą być niewystarczające do jego wiarygodnej oceny. Najlepszym rozwiązaniem może być dwubiegunowy poziomy układ mostkowy elektrod (*bipolar vertical sternal lead system*), który gwarantuje lepiej widoczny załamek P i w związku z tym pozwala na dokładniejszą ocenę aktywności przedsionków i diagnozowanie arytmii [36]. Rosiak i wsp. w grupie 130 pacjentów po przebytych ostrym epizodzie wieńcowym wykazali, że czas trwania załamka P, mierzony za pomocą SAECG, wynoszący powyżej 125 ms może być niezależnym czynnikiem prognostycznym w przewidywaniu powikłań aryt-

micznych u tych pacjentów, co wiąże się u nich ze zwiększonym ryzykiem zgonu [37]. W badaniu tym wydłużony czas trwania załamka P silnie (i niezależnie) korelował z następczymi powikłaniami arytmicznymi, podobnie jak wiek powyżej 65 rż.

Czy tylko „standardowy Holter”?

Ugruntowana pozycja klasycznego monitorowania czynności serca metodą Holtera nie wyczerpuje wszystkich możliwości, jakie ta technika stwarza. Okazuje się bowiem, że w niektórych przypadkach nie wystarcza już klasyczne, 24-godzinne badanie holterowskie. Pomocne okazują się systemy monitorowania wielodniowego, nawet powyżej tygodnia, w przypadku których jedynym ograniczeniem jest trwałość baterii oraz wytrzymałość pacjenta związana z koniecznością wielodniowego noszenia na ciele przyklejonych elektrod EKG.

Innymi urządzeniami pozwalającymi na zarejestrowanie napadów zaburzeń rytmu i przewodzenia są *Event Holtery*, umożliwiające rejestrację EKG w trakcie zdarzenia. Są wśród nich systemy gotowe do monitorowania (*stand by*) lub przykładane do powierzchni skóry w trakcie zdarzenia. Coraz częściej zainteresowanie kardiologów wzbudzają różnego rodzaju systemy telemonitoringu pozwalające na ocenę *on-line* oraz ocenę retrospektywną zapisu EKG pacjenta przebywającego w domu, w szpitalu, poddanego rehabilitacji kardiologicznej bądź będącego na urlopie poza miejscem zamieszkania. Z systemem tym wiążą się oczekiwania dotyczące skrócenia czasu pobytu chorego w szpitalu i zapewnienia mu pełnego bezpieczeństwa po jego opuszczeniu. Powstały już stymulatory, które poprzez specjalny system łączności przekazują na bieżąco dane dotyczące pracy urządzenia oraz zapisy EKG, co określa się nazwą „domowy monitoring” (*home monitoring*) [38]. Niekiedy pomimo zastosowanych metod diagnostycznych nie ma możliwości ustalenia w EKG podłoża napadów zaburzeń rytmu i omdleń. Wówczas niezbędne w diagnostyce okazują się wszczepiane rejestratory zdarzeń [39, 40]. Oczekiwania w tym kierunku są na tyle duże, że mówi się już o możliwym ustanowieniu standardów postępowania w pewnych sytuacjach klinicznych, które obejmowałyby monitorowanie przy użyciu tych urządzeń [41], jak to jest np. w nawracających epizodach niewyjaśnionych omdleń i pełnych utrat przytomności pojawiających się sporadycznie, w przypadku których dotychczas stosowane metody diagnostyczne nie przyniosły żadnych efektów. Urządzenia tego typu umożliwiają śledzenie w dwojaki sposób zjawisk o charakterze zaburzeń rytmu bądź przewo-

dzenia serca, towarzyszących różnym stanom klinicznym. Rejestrują one automatycznie lub pozwalają na aktywację przez pacjenta po zaistniałym incydencie dzięki zamkniętej pętli zapisu EKG, tak jak w zwykłych, tzn. zewnętrznych rejestratorach zdarzeń (*event recorders*). Ma to szczególne znaczenie w diagnostyce omdleń i pełnych utrat przytomności, zwłaszcza kiedy pojawiają się one stosunkowo rzadko (od 1 do kilku razy w roku). Możliwość detekcji zdarzeń w systemie automatycznym (po odpowiednim zaprogramowaniu wykrywalności zdarzeń — pauzy, nsVT, sVT, SVT), jak również zdolność odtwarzania zapisu EKG po zaistniałym incydencie (omdlenie, utrata przytomności, kołatanie i inne) pozwalają na zwiększenie czułości i specyficzności tej metody. Stwierdzono, że diagnostyka taka jest znacznie skuteczniejsza od klasycznego systemu 24-godzinnej rejestracji, chociaż niekiedy, jak wykazały pewne próby, ograniczeniem w jej stosowaniu jest brak umiejętności w posługiwaniu się urządzeniem przez samych pacjentów [42, 43]. U chorych z wszczepialnym kardiowerterem-defibrylatorem (ICD, *implantable cardioverter defibrillator*) w ocenie skuteczności leczenia bardzo pomocna jest jego funkcja holterowska. Dzięki elektrogramom rejestrowanym przez ICD można wykryć nawrót i mechanizm arytmii, współistniejące nadkomorowe zaburzenia rytmu (np. migotanie przedsionków) oraz ocenić poprawność rozpoznawania i leczenia arytmii. Podejmuje się próby zastosowania powyższego systemu również we wszczepialnych stymulatorach serca (Biotronik). Aktualnie istniejące systemy archiwizacji danych w stymulatorach pozwalają już na rejestrację zapisów wewnątrzsercowych EKG (IEGM, *intracardiac electrogram*), co poprawia diagnostykę arytmii komorowej i nadkomorowej. Niestety systemy te wciąż jeszcze dysponują ograniczoną (do kilkunastu sekund) pamięcią zapisu.

Podsumowanie

Od czasu wynalezienia i zastosowania pierwszego przenośnego urządzenia do rejestracji EKG minęło ponad pół wieku. Postęp techniczny, jaki osiągnięto w ciągu ostatnich 50 lat, umożliwił wprowadzenie techniki monitorowania holterowskiego do codziennej praktyki szpitalnej i ambulatoryjnej. W ten sposób zakres badań diagnostycznych powiększył się o stosunkowo łatwo dostępną, tanią i niezbyt skomplikowaną technikę, która okazała się niezwykle pożyteczna. Rozliczne badania potwierdzające dużą użyteczność tej metody ugruntowały jej pozycję w kanonie badań kardiologicznych. Jednocześnie jest to technika wciąż rozwijająca się

i znajdująca nowe zastosowania wraz z rozwojem innych metod diagnostycznych i leczniczych. Wprowadzenie „rejestratorów zdarzeń” (*event recorders*) z pamięcią stałą i analizą w czasie rzeczywistym, „zaimplantowanie” funkcji holterowskiej stymulatorom, wreszcie możliwość oceny algorytmów elektrokardiograficznych w AECG (np. HRV, HRT) są zapewne tylko kolejnym etapem, nie zaś wyczerpaniem możliwości tkwiących w technice ambulatoryjnej rejestracji EKG. Ogromnym atutem jest w jej przypadku także nieinwazyjność oraz praktycz-

nie brak przeciwwskazań, a także powtarzalność i możliwość wszechstronnej analizy uzyskanych wyników. Te i inne zalety bez wątpienia będą sprzyjać dalszemu rozwojowi techniki AECG.

Podziękowania

Autorzy dziękują za cenne rady przy pracy nad powyższą publikacją Panu dr. hab. med. Rafałowi Baranowskiemu z Instytutu Kardiologii w Warszawie.

Streszczenie

Elektrokardiografia holterowska (AECG) to obecnie powszechnie stosowana w praktyce, nieinwazyjna metoda diagnostyczna pozwalająca również na ocenę ryzyka nagłego zgonu sercowego u niektórych pacjentów z chorobami serca. Jej powszechna dostępność oraz stosunkowo niskie koszty sprawiają, że chętnie stosuje się ją w praktyce klinicznej, niekiedy nie uwzględniając wskazań do jej wykonania. Zdarzają się również sytuacje, kiedy AECG mogłoby wnieść nowe istotne informacje w procesie diagnostyczno-rokowniczym, jednak z różnych powodów lekarz prowadzący nie zleca tego badania. Dlatego niezwykle istotną kwestią stało się przypomnienie i uściślenie wskazań do AECG, którego dokonali eksperci powołani przez Amerykańskie Kolegium Kardiologów (ACC) oraz Amerykańskie Towarzystwo Kardiologiczne (AHA).

W niniejszej pracy przedstawiono wiedzę, jaką powinien dysponować lekarz podejmujący się zadania interpretacji badania AECG. Wytyczne te zostały zaczerpnięte z oświadczenia na temat kompetencji klinicznych dotyczących lekarza analizującego badanie EKG i AECG, opublikowanego w 2001 r. Przedstawiono również zasadnicze trudności, z jakimi może spotkać się osoba interpretująca to badanie. W dalszej części skoncentrowano się na problemie ambulatoryjnego monitorowania EKG w ocenie ryzyka zagrożenia groźną dla życia arytmia i nagłym zgonem sercowym, uwzględniając znane już algorytmy oparte na badaniu holterowskim, takie jak: zmienność rytmu serca (HRV), ocena odstępu QT i jego dyspersji, EKG wysokiego wzmocnienia [w tym późnych potencjałów komorowych (LP), ocena trwania załamka P i jego dyspersji], turbulencja rytmu komorowego (HRT), zmienność (naprzemiennność) załamka T (TWA). (Folia Cardiol. 2005; 12: 245–253)

elektrokardiografia holterowska, Holter, interpretacja, HRV, HRT, LP, QT, QTd, zmienność załamka T, załamek P

Piśmiennictwo

1. Kadish A.H., Buxton A.E., Kennedy H.L. i wsp. ACC/AHA clinical competence statement on electrocardiography and ambulatory electrocardiography: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians-American Society of Internal Medicine Task Force on Clinical Competence (ACC/AHA Committee to Develop a Clinical Competence Statement on Electrocardiography and Ambulatory Electrocardiography). J. Am. Coll. Cardiol. 2001; 38: 2091–2100.
2. Piotrowicz R. Technika badania EKG metodą Holtera. W: Dąbrowski A., Dąbrowska B., Piotrowicz R. red. Elektrokardiografia holterowska. Wydawnictwo Medyczne, Warszawa 1994; 27–30.
3. Simson M.B. Use of signals in the terminal QRS complex to identify patients with ventricular tachycardia

- after myocardial infarction. *Circulation* 1981; 64: 235–241.
4. Kanowsky M.S., Falcone R.A., Dresden C.A., Josephson M.E., Simpson M.B. Identification of patients with ventricular tachycardia after myocardial infarction: signal averaged electrocardiogram, Holter monitoring and cardiac catheterization. *Circulation* 1984; 70: 264–270.
5. Fauchier L., Babuty D., Cosnay P., Poret P., Rousnel P., Fauchier J.P. Long term prognostic value of time domain analysis of signal-averaged electrocardiography in idiopathic cardiomyopathy. *Am. J. Cardiol.* 2000; 85: 618–625.
6. Gomes J.A., Cain M.E., Buxton A.A.E., Josephson M.E., Lee K.L., Hafley G.E. Prediction of long-term outcomes by signal-averaged electrocardiography in patients with unsustained ventricular tachycardia, coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation* 2000; 104: 436–441.
7. Huikuri H.V., Tapanainen J.M., Lindgren K. i wsp. Prediction of sudden cardiac death after myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 42: 652–658.
8. Florczak E., Kępski R., Makowiecka-Cieśla M. i wsp. Późne potencjały komorowe u chorych z nadciśnieniem tętniczym pierwotnym. *Folia Cardiol.* 2003; 10: 655–665.
9. Kikuya M., Hozawa A., Ohokubo T. Prognostic significance of blood pressure and heart rate variabilities. The Ohasama Study. *Hypertension* 2000; 36: 901–906.
10. Tsuji H., Larson M.G., Venditti F.J. Jr i wsp. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1996; 94: 2850–2855.
11. Malik M., Bigger J.T., Camm A.J. i wsp. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart J.* 1996; 17: 354–381.
12. Corr P.B., Yamada K.A., Witkowski F.X. Mechanisms controlling cardiac autonomic function and their relation to arrhythmogenesis. W: Fozzard H.A., Haber E., Jennings R.B., Katz A.N., Morgan H.E. red. *The heart and cardiovascular system*. Raven Press, New York 1986; 1343–1403.
13. Schwartz P.J., Priori S.G. Sympathetic nervous system and cardiac arrhythmias. W: Zipes D.P., Jalife J. red. *Cardiac electrophysiology. From cell to bedside*. W.B. Saunders, Philadelphia 1990; 330–343.
14. Schmidt G., Malik M., Barthel P. i wsp. Heart-rate turbulence after ventricular premature beats as a predictor of mortality after acute myocardial infarction. *Lancet* 1999; 9162: 1390–1396.
15. Guzik P., Schmidt G. Turbulencja rytmu serca — nowa, elektrokardiograficzna metoda oceny ryzyka u pacjentów po zawale serca. *Folia Cardiol.* 2001; 8: 597–603.
16. Barthel P., Schneider R., Bauer A. i wsp. Risk stratification after acute myocardial infarction by heart rate turbulence. *Circulation* 2003; 108: 1221–1226.
17. Moss A., Schwartz P. Delayed repolarization and malignant ventricular arrhythmias. *Mod. Concept. Cardiovasc. Dis.* 1982; 51: 85–92.
18. Zareba W., Moss A., la Cessi S. Dispersion of ventricular repolarization and arrhythmic cardiac death in coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 1994; 74: 550–553.
19. Berger R.D., Kasper E.K., Baughman K.L. i wsp. Beat-to-beat QT interval variability: novel evidence for repolarization liability in ischemic and nonischemic dilated cardiomyopathy. *Circulation* 1997; 96: 1557–1565.
20. Schwartz P.J., Wolf S. QT prolongation as predictor of sudden death in patients with myocardial infarction. *Circulation* 1987; 557: 1074–1077.
21. Algra A., Tijssen J.G., Roelandt J.R., Pool J., Lubsen J. QT interval variables from 24 hour electrocardiography and the two year risk of sudden death. *Br. Heart J.* 1993; 70: 43–48.
22. Homs E., Marti V., Guindo J. i wsp. Automatic measurements of corrected QT interval in Holter recordings: comparison of its dynamic behaviour in patients after myocardial infarction with and without life-threatening arrhythmias. *Am. Heart J.* 1997; 134: 181–187.
23. Chevalier P., Burri H., Adeleine P. i wsp. QT dynamics and sudden death after myocardial infarction: results of a long term follow-up study. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2003; 14: 227–233.
24. Nakamae H., Hino M., Akahori M. i wsp. Predictive value of QT dispersion for acute heart failure after autologous and allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Am. J. Hematol.* 2004; 76: 1–7.
25. Sakagami J., Kataoka K., Sogame Y. i wsp. Increased QT dispersion in patients with alcoholic pancreatitis. *Pancreas* 2004; 28: 380–386.
26. Yoshimura M., Matsumoto K., Watanabe M., Yamashita N., Sanuki E., Sumida Y. Significance of exercise QT dispersion in patients with coronary artery disease who do not have exercise-induced ischemic ST-segment changes. *Jpn. Circ. J.* 1999; 63: 517–521.
27. Koide Y., Yotsukura M., Tajino K., Yoshino H., Ishikawa K. Use of QT dispersion measured on treadmill exercise electrocardiograms for detecting restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Clin. Cardiol.* 1999; 22: 639–648.

28. Koide Y., Yotsukura M., Yoshino H., Ishikawa K. Value of QT dispersion in the interpretation of treadmill exercise electrocardiograms of patients without exercise-induced chest pain or ST-segment depression. *Am. J. Cardiol.* 2000; 85: 1094–1099.
29. Ulgen M.S., Karadede A., Alan S., Temamogulari A.V., Karabulut A., Toprak N. Contribution of the peak exercise QT dispersion to the accuracy of an exercise test during the evaluation of coronary artery disease. *Acta Cardiol.* 2000; 55: 335–339.
30. Zabel M., Malik M. Practical use of T-wave morphology assessment. *Card. Electrophysiol. Rev.* 2002; 6: 316–322.
31. Zabel M., Malik M. Predictive value of T-wave morphology variables and QT dispersion for postmyocardial infarction risk assessment. *J. Electrocardiol.* 2001; 34 Supl.: 27–35.
32. Pruvot E.J., Rosenbaum D.S. T-wave alternans for risk stratification and prevention of sudden cardiac death. *Curr. Cardiol. Rep.* 2003; 5: 350–357.
33. Klingenheben T., Hohnloser S.H. Clinical value of T-wave alternans assessment. *Card. Electrophysiol. Rev.* 2002; 6: 323–328.
34. Verrier R.L., Nearing B.D., La Rovere M.T. i wsp. Ambulatory electrocardiogram-based tracking of T-wave alternans in postmyocardial infarction patients to assess risk of cardiac arrest or arrhythmic death. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2003; 14: 705–711.
35. Ruta J., Ptaszynski P., Wranicz K.J., Bolinska H. Most ventricular depolarization and repolarization abnormalities are not predictors of arrhythmic events in postinfarction patients with normal intraventricular conduction. *Med. Sci. Monit.* 2003; 9: 131–136.
36. Herzog L.R., Marcus F.I., Scott W.A., Faitelson L.H., Ott P., Hahn E. Evaluation of electrocardiographic leads for detection of atrial activity (P wave) in ambulatory ECG monitoring: a pilot study. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1992; 15: 131–134.
37. Rosiak M., Ruta J., Bolinska H. Usefulness of prolonged P-wave duration on signal averaged ECG in predicting atrial fibrillation in acute myocardial infarction patients. *Med. Sci. Monit.* 2003; 9: MT 85–88.
38. Wallbruck K., Stellbrink C., Santini M., Gill J., Hartmann A., Wunderlich E. The value of permanent follow-up of implantable pacemakers-first results of an European trial. *Biomed. Tech. (Berl.)* 2002; 47 (Supl. 1): 950–953.
39. Gimbel J.R. Novel use of an „insertable” loop recorder. *Heart* 2003; 89: 18e.
40. Belchi Navarro J., Quesada Dorador A., Atienza Fernandez F., Villalba Caballero S.J., Roda Nicolas J., de Velasco Rami J.A. Syncope and a negative electrophysiological study. The usefulness of an implantable Holter monitor for the diagnosis of ventricular arrhythmias. *Rev. Esp. Cardiol.* 1999; 52: 1151–1153.
41. Brignole M., Menozzi C., Moya A., Garcia-Civera R. Implantable loop recorder: towards a gold standard for the diagnosis of syncope? *Heart* 2001; 85: 610–612.
42. Ermis C., Zhu A.X., Pham S. Comparison of automatic and patient-activated arrhythmia recordings by implantable loop recorders in the evaluation of syncope. *Am. J. Cardiol.* 2003; 92: 815–819.
43. Sivakumaran S., Krahn A.D., Klein G.J. A prospective randomized comparison of loop recorders versus Holter monitors in patients with syncope or pre-syncope. *Am. J. Med.* 2003; 115: 1–5.